

Auftragschweißen von korrosions- und verschleißbeständigen Schichten aus Kupferbronze und Duplexstahl auf Gusseisenwerkstoffen

U. Reisgen, R. Sharma, E. Zokoll, E. Gonzalez Olivares

ISF - Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik, RWTH Aachen University

zokoll@isf.rwth-aachen.de

M. Oechsner, T. Engler, J. Ellermeier, B. Heider

Zentrum für Konstruktionswerkstoffe (MPA-IfW), TU Darmstadt

heider@mpa-ifw.tu-darmstadt.de

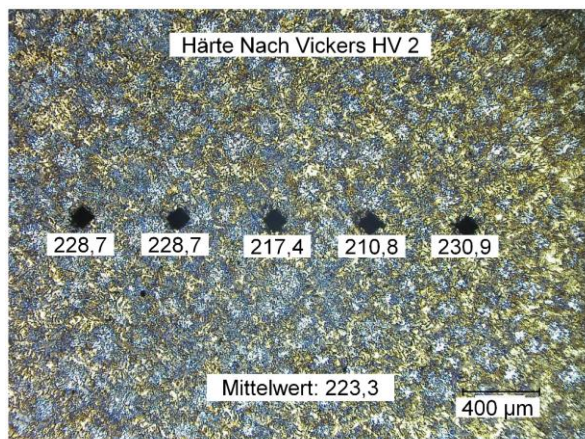
Abstract

Untersucht wird das Auftragschweißen von mehrere Millimeter dicken Schichten aus Zinnbronze und Duplexstahl auf Gusseisen mit Lamellengraphit unter Verwendung eines geregelten MSG-Schweißprozesses und des Plasma-Pulver-Auftragschweißens. Der Einfluss des Heliumanteils in einem Argonschutzgas sowie der Vorwärmtemperatur auf die Korrosionsbeständigkeit stehen im Vordergrund der Untersuchungen. Sowohl eine Erhöhung des Heliumgehalts als auch eine Vorwärmung erhöhen die Aufmischung und beeinflussen die Temperaturverteilung und die Abkühlraten bei sonst identischen Schweißparametern. Durch Heliumanteile im Schutzgas wird die Porenbildung, jedoch auch Wärmeleitfähigkeit des Schutzgases und damit auch das Einbrandverhalten beeinflusst. Eine Vorwärmung reduziert aufgrund langsamerer Abkühlgeschwindigkeiten den Martensitanteil und somit die Härte in der Wärmeeinflusszone und trägt somit begünstigend zur Vermeidung von Rissen bei. Allerdings begünstigt eine zu hohe Vorwärmung die Bildung von Karbiden in der Auftragschicht und vergrößert die Aufmischung. Eine Herausforderung ist somit die Bestimmung eines geeigneten Prozessfensters. Die Methode des Kaltschweißens von Gusseisenwerkstoffen mit Vorwärmtemperaturen bis 400 °C zeigt sich jedoch auch ohne Vorwärmung für Auftragschweißungen geeignet. Potentiodynamische Polarisation wurde zur Untersuchung der Korrosionsbeständigkeit angewendet. Die Korrosionseigenschaften des Gusseisens werden durch die Schweißschichten deutlich verbessert und erreichen teilweise die Korrosionsbeständigkeit des reinen Schweißzusatzes. Erosiv-korrosive Untersuchungen zeigen hingegen Defizite bei den Bronzeschichten.

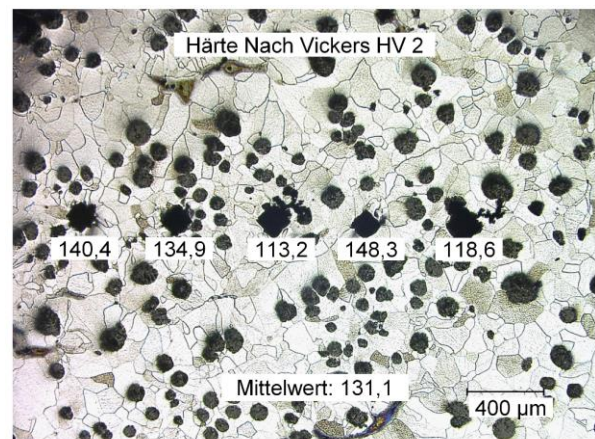
1 Problemstellung und Vorgehensweise

1.1 Herausforderungen beim Schweißen von Gusseisenwerkstoffen

Gusseisen mit Lamellengraphit ist aus wirtschaftlicher Sicht für geometrisch komplexe Bauteile ideal geeignet. Jedoch erfordert eine korrosive und/oder abrasive Beanspruchung sowie Kavitation bei Strömungsbauteilen einen beständigeren Werkstoff [1,2,3]. Durch die Verwendung höherlegierter Werkstoffe für das ganze Bauteil verschlechtert sich jedoch die Gießbarkeit und auch die Bauteilkosten steigen. Ein Lösungsansatz ist die Funktionstrennung: Während das Bauteil vorwiegend aus kostengünstigeren Gusseisenwerkstoffen hergestellt wird sind nur die Bereiche, die Korrosion, Erosion und/oder Kavitation ausgesetzt sind, auch mit entsprechenden Verschleißschutzschichten versehen. So sollen nicht nur die Materialkosten reduziert, sondern auch die Lebensdauer der Bauteile vergrößert werden. Eine Herausforderung bei thermischen Beschichtungsverfahren an Gusseisenwerkstoffen stellt der Graphit in lamellarer beziehungsweise globularer Form dar (*Abb. 1*). Dieser kann in die Werkstoffmatrix diffundieren und spröde Karbide bilden.



Lamellengraphit



Kugelgraphit

Abb. 1: Eisengusswerkstoffe

Thermisch gespritzte Schichten sind aufgrund ihrer Porosität für den Korrosionsschutz nur bedingt geeignet, weshalb eine geschlossene metallische Schutzschicht durch Auftragschweißen vorteilhafter ist. Da beim Auftragschweißen jedoch der Grundwerkstoff oberflächennah aufgeschmolzen wird, entstehen Gefügeveränderungen und erhebliche Eigenspannungen.

Beim Auftragschweißen auf Gusseisen, welches mehr als 2,06 Gew.-% Kohlenstoff enthält, kommt es zudem zu einer Aufmischung mit Kohlenstoff, die eine Bildung von versprödenden Phasen und Rissbildung zur Folge haben kann. Der Kohlenstoff liegt bei Gusseisen in Form von Graphiteinlagerungen in einer meist ferritischen oder perlitischen Matrix vor [4]. Zur Vermeidung von Rissen werden deshalb beim Schweißen von Gusseisenwerkstoffen das Kaltschweißen und das Warmschweißen angewendet [5].

1.2 Kaltschweißen mit Vorwärmtemperaturen bis 400 °C als Lösungsansatz zum Auftragschweißen

Die Anforderungen nach geringen Aufmischungen durch möglichst geringe Streckenenergien einerseits und geringer Aufhärtung und Rissgefahr (Abb. 2) durch große Abkühlzeiten durch Vorwärmung und hohe Streckenenergien stehen prinzipiell im Widerspruch.

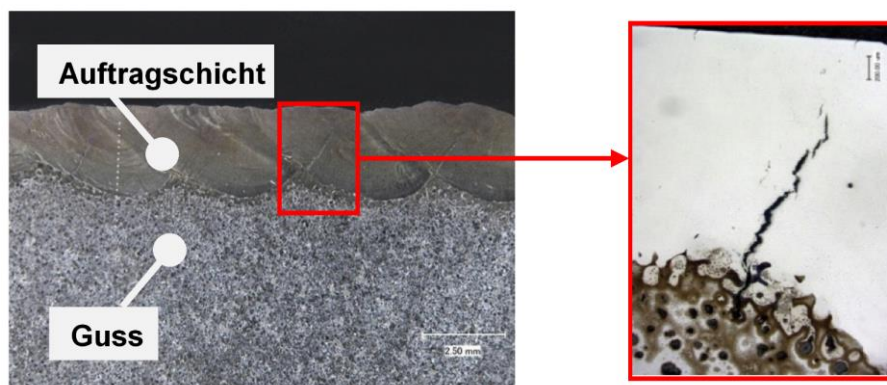


Abb. 2: Rissbildung in der Schmelzlinie beziehungsweise Wärmeeinflusszone bei der Auftragschweißung von Gusseisen

Im Rahmen der hier vorgestellten Arbeiten wird die Methode des sog. Kaltschweißens mit Vorwärmungen auf bis zu 400 °C zur Reduzierung von Martensitbildung angewandt. Jedoch auch ohne Vorwärmung bietet sich das Kaltschweißen hier als Lösungsstrategie an. Neben dem Plasma-Pulver-Auftragschweißen (PPA) ist das CMT-Verfahren durch seine geringe Wärmeeinbringung und dem Werkstoffübergang im Kurzschluss ideal, um solche Auftragschichten zu erzeugen. Über die Untersuchungen mit Auftragschichten aus Duplexstahl wurde unter anderem in [6,7,8] berichtet. Doch auch Zinnbronzen sind als Schutzschichten und als Basis für Schichtsysteme mit zusätzli-

chen, thermisch gespritzten keramischen Hartschichten geeignet. Der Schwerpunkt dieses Vortrags wird auf die schweißtechnische Verarbeitung gelegt, der durch resultierende Korrosionsuntersuchungen ergänzt wird.

2 Versuchsaufbau und Vorgehensweise

2.1 Versuchswerkstoffe

Entsprechende Untersuchungen an Auftragschweißungen mit 1.4462 Duplex-Schweißzusätzen und CuSn8-Zinnbronzen wurden auf Platten aus Gusseisen mit Lamellengraphit EN-GJL-250 durchgeführt. Die chemische Zusammensetzung des Grundwerkstoffs und der Schweißzusätze sind in *Tab. 1* und *Tab. 2* dargestellt. Die Oberfläche wird vor dem Vorwärmen durch Schleifen von Gusshaut befreit und mit Aceton gereinigt.

Tab. 1: Chemische Zusammensetzung des Grundwerkstoffs und der Duplex-Stahl-Schweißzusätze (optische Emissionsspektroskopie, in Gew. %)

Werkstoff	C	Mn	Cr	Mo	Ni	N	Fe
EN-GJL-250	3.43	0.760	0.110	0.040	0.100		92.0
Duplex-Stahl (Draht)	0.024	1.77	21.6	3.13	5.73	0.158	66.7
Duplex-Stahl (Pulver)	0.029	1.20	23.42	3.22	5.66		65.3

Tab. 2: Chemische Zusammensetzung der CuSn8-Schweißzusätze (optische Emissionsspektroskopie, in Gew. %)

Werkstoff	Sn	P	Cu
CuSn8 (Draht)	7,86	0,09	91,92
CuSn8 (Pulver)	10,36	0,196	89,4

2.1 Vorgehensweise

Das Gesamtziel der Schweißversuche ist es, mögliche Korrelationen zwischen der Wärmeführung durch Vorwärmung und Wärmeleitfähigkeit des Schutzgases und dem

resultierenden Korrosions- und Verschleißschutz aufzuzeigen. Ein besonderer Schwerpunkt wird hierbei auf die Vorwärmtemperaturen und die Schutzgaszusammensetzung bei sonst konstanten Schweißparametern gelegt. Jeweils für den PPA- und den CMT-Prozess soll ein Zusammenhang zwischen der aus den Schweißparametern resultierenden chemischen Aufmischung im Schweißgut die das korrosionsverhalten bestimmt, der geometrischen Aufmischungsgrad als Verhältnis von Einbrand zu Schweißgut als schweißtechnische Größe und der Aufhärtung in der Wärmeeinflusszone betrachtet werden. Unter chemischer Aufmischung wird die relative Konzentrationsveränderung zwischen Grundwerkstoff und Schweißzusatz der Elemente Eisen, Chrom und Nickel verstanden[8]. Diese ist für das resultierende Korrosionsverhalten relevant und wird deshalb Oberflächennah gemessen. Die Übertragung der Ergebnisse von Einzelraupen auf vollflächige Auftragschichten wird hierbei berücksichtigt.

Beide Prozesse und Schweißzusatzarten werden unabhängig voneinander betrachtet, weshalb ein direkter Vergleich anhand der hier durchgeführten Versuche nicht möglich ist. Für die Versuche wird ein mithilfe von Widerstandsheizmatten beheizbarer Schweißtisch verwendet. Der Versuchsaufbau für den MSG-Prozess ist in *Abb. 3* wiedergegeben und dient mit anderem Brenner auch für die Plasma-Pulver-Auftragschweißungen. Die Abkühlung findet frei an Raumtemperatur statt.

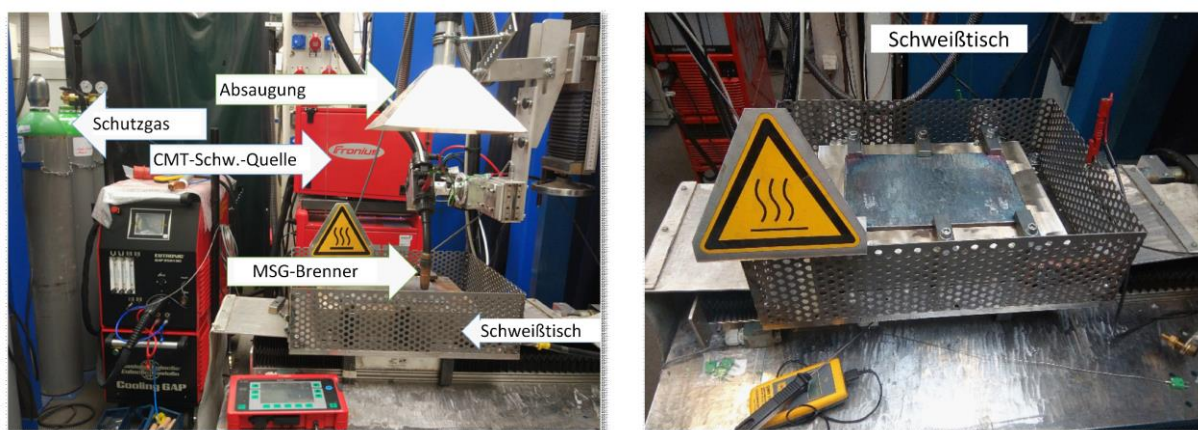


Abb. 3: Versuchsaufbau für MSG-Auftragschweißungen

3 Auftragschweißen mit einem geregelten MSG-Kurzlichtbogenverfahren

Als energiearmer geregelter Kurzlichtbogenprozess hat der CMT-Prozess einen noch geringeren Wärmeeintrag als konventionelle MSG-Kurzlichtbogenprozesse und ist in der Lage, Draht als Zusatzwerkstoff mit großer Abschmelzleistung zu verwenden. Aus

diesem Grund wurde das Verfahren für die Untersuchungen mit MSG-Verfahren gewählt.

3.1 Duplex-Stahl MSG-Auftragschichten

Die Drahtvorschubgeschwindigkeit wird mit 7 m/min mit einer Lichtbogenkorrektur von +15 % gewählt. Der Tischvorschub beträgt ohne Pendelung 0,4 m/min. Der CMT-Prozess erzeugt über eine große Reichweite an Parametervorgaben eine stabile und durchgehende Naht mit gelegentlichen Rissen im Schweißzusatz, jedoch nicht im Grundwerkstoff. Hierbei werden minimale geometrische Aufmischungsgrade von circa 10 % erreicht. Beim Auftragschweißen ganzer Flächen ohne Vorwärmung treten Längs- und Querrisse auf, die sich durch Schweißgut und Grundwerkstoff ausbreiten, diese werden erst bei einer Vorwärmung auf 400 °C unterdrückt. Beim Schweißen wird beobachtet, dass der gemittelte Strom vermutlich durch die Prozessregelung annähernd konstant bleibt, und die gemittelte Spannung in Abhängigkeit des Heliumanteils steigt. Dies kann dadurch erklärt werden, dass Helium ein größeres Ionisierungspotenzial aufweist und somit zum Erreichen desselben Stroms eine größere Spannung erforderlich ist.

Anhand von Querschliffen und Härtemessungen kann gezeigt werden, dass der Aufhärtungsmechanismus ohne Vorwärmung um die diffuse Schmelzlinie nicht auf der Bildung von Chromkarbiden beruht, sondern martensitischer Aufhärtung in einem kleinen Bereich der Wärmeeinflusszone von unter 100 µm Breite auf 800 HV_{0,5}. Durch die Vorwärmung auf 400 °C wird ein Härteabfall von 200 HV_{0,5} an der härtesten Stelle gemessen. Durch die verlaufende Schmelze und somit ungleichmäßigen Raupen steigt der geometrische Aufmischungsgrad beim Schweißen ganzer Flächen auf teilweise über 30 % an. Durch einen größeren Heliumanteil im Schutzgas wird die gemessene Lichtbogenenergie bei gleichen Einstellparametern ebenfalls erhöht, was ebenfalls zu größeren geometrischen Aufmischungsgraden führt. Sowohl die Vorwärmung als auch die Heliumzugabe führen durch die daraus resultierende Temperaturverteilung allerdings im Schweißgut zur Bildung von Chromkarbiden, die zu einer Herabsetzung der chemischen Aufmischung und somit der Korrosionsbeständigkeit führen können. Stromdichte-Potenzialkurven der Auftragschweißschichten mit unterschiedlicher chemischen Aufmischung sind in *Abb. 4* dargestellt. Durch korrekte Wahl der Schweißparameter und des Verfahrens konnten eine Auftragschichten erzeugt werden, die nach [7,8] zwar über 0,1°Gew. % Kohlenstoff enthalten, jedoch maximale Härten von 250°HV-350 HV und vor allem einem ähnlichen Korrosionsverhalten wie Duplexstahl aufweisen. Die

geringen ermittelten Härten in der Auftragschicht und die geringere Korrosionsschutzwirkung deuten darauf hin, dass der Kohlenstoff zur Carbidbildung aufgebraucht wurde und es sich vorwiegend um ein Duplexgefüge handelt.

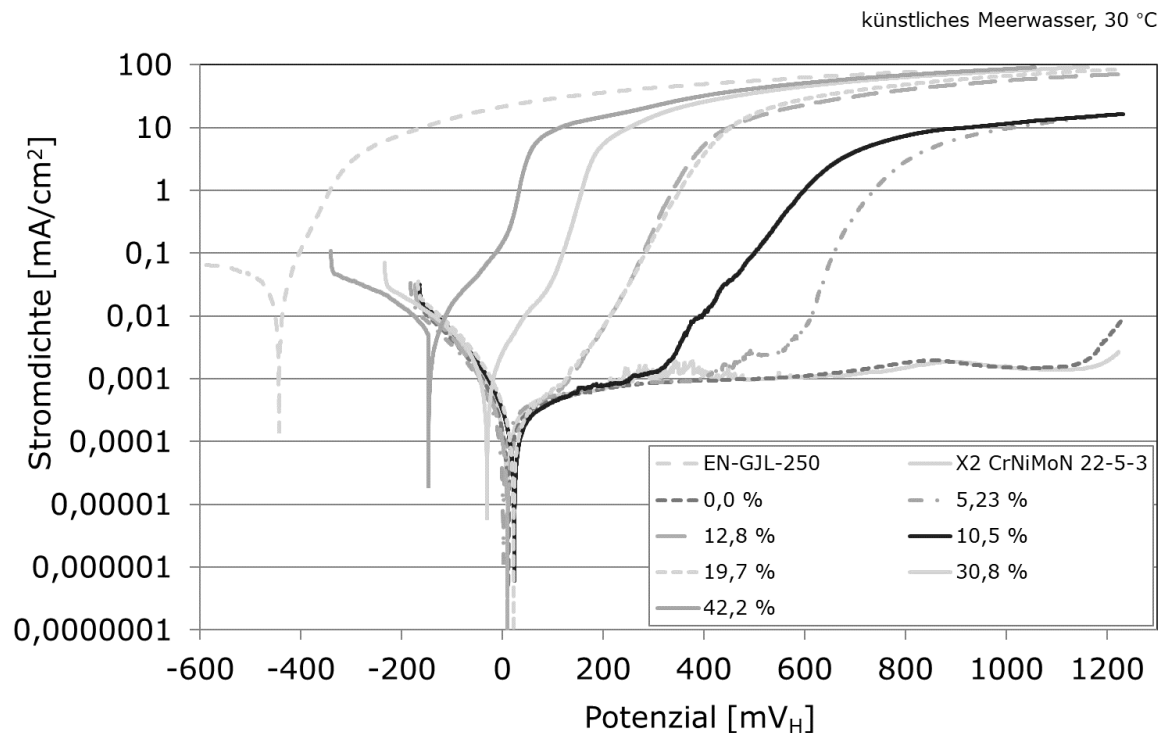


Abb. 4: Stromdichte-Potenzialkurve: Referenzwerkstoffe sowie MSG-Probeschweißungen mit Duplex-Stahl Schweißzusatz mit unterschiedlicher chemischer Aufmischung

3.2 Zinnbronze MSG-Auftragschichten

Für die Zinnbronzedrähte wird eine Drahtvorschubgeschwindigkeit von 9 m/min mit einer Lichtbogenkorrektur von +10 % gewählt. Der Vorschub beträgt ohne Pendelung 0,4 m/min. Über einen weiten Parameterbereich zeigen sich nur geringfügige Unterschiede im Nahtaussehen und Prozessverhalten. Neben einer großen Aufhärtung in der Wärmeeinflusszone (WEZ) auf 800 HV_{0,5} existiert ein Bereich umgeschmolzenen Gusseisens mit einer Härte von über 900 HV_{0,5}, in welchem mit EDX-Messungen circa 4 % Kupfer und 0,2 % Zinn aus der Auftragschicht nachgewiesen werden (Abb. 5). Eine Reduzierung dieser versagenskritischen Schicht durch andere Schweißparameter führte zu Bindefehlern und einer unzureichenden Benetzung der Zinnbronze.

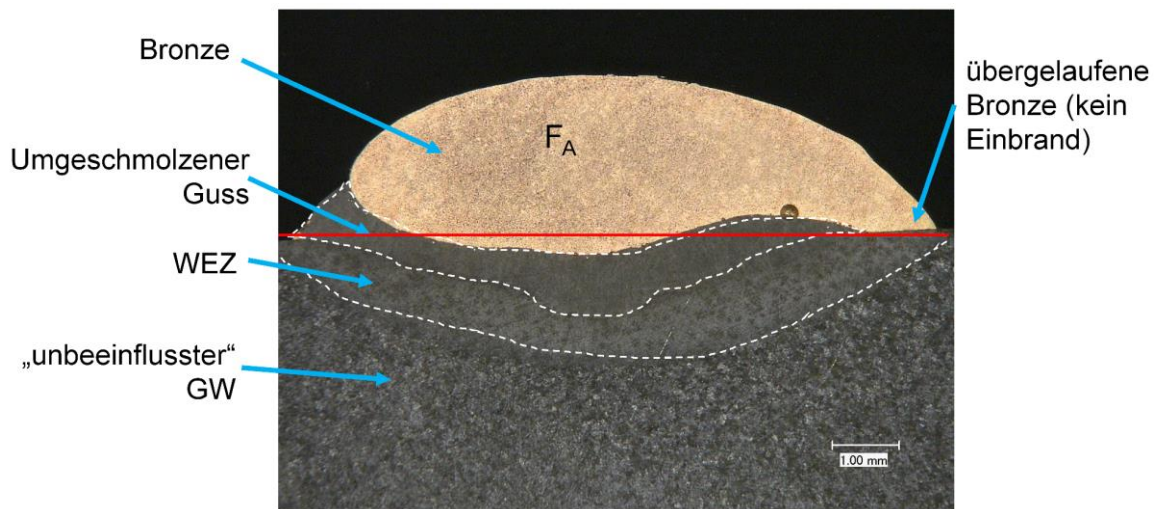


Abb. 5: Gefügebau einer Zinnbronze-Auftragschicht auf Gusseisen

Die geringsten gemittelten geometrischen Aufmischungsgrade von 21 % unabhängig davon ob Argon oder reines Helium als Schutzgas verwendet werden, zeigen, dass hier der Schutzgas-einfluss gering ist. Durch Vorwärmung steigt der geometrische Aufmischungsgrad auf 29 % (Helium) beziehungsweise 37 % (Argon), da jedoch auch bei vollflächigen Auftragschweißungen keine Risse auftreten kann die Vorwärmung entfallen. Durch die geringe chemische Aufmischung aus der geringen Löslichkeit zwischen Fe und Cu bestätigen die ermittelten Stromdichte-Potenzialkurven aus Korrosionsuntersuchungen, dass die geringe Einflussnahme durch Vorwärmtemperaturen und Schutzgaszusammensetzung ebenfalls einen geringen Einfluss auf das Korrosionspotential aufweist (Abb. 6).

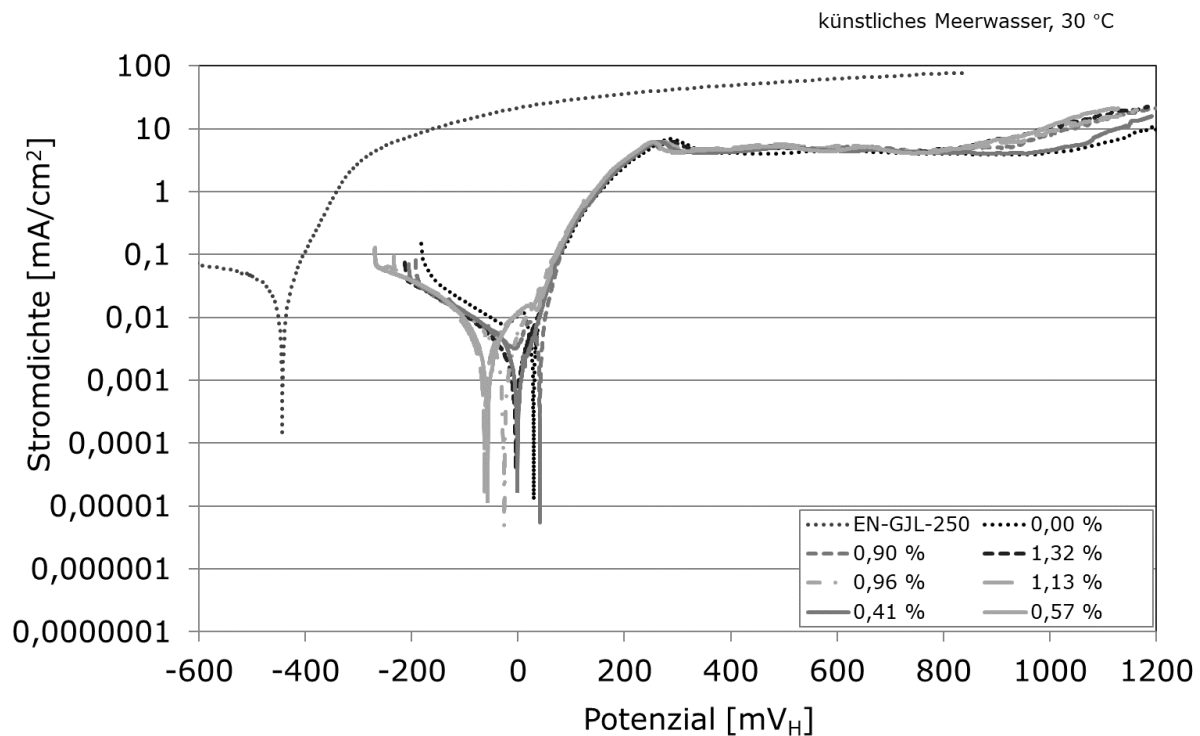


Abb. 6: Stromdichte-Potenzialkurve: Referenzwerkstoffe sowie MSG-Probeschweißungen mit Zinnbronze-Schweißzusatz mit unterschiedlicher chemischer Aufmischung.

4 Plasma-Pulver-Auftragschweißen (PPA)

4.1 Duplex-Stahl Plasma-Pulver-Auftragschichten

Beim Plasma-Pulver-Auftragschweißen wird ein Pulver über ein Transportgas in den Wirkungsbereich des Plasmastrahls am Grundwerkstoff gefördert und aufgeschmolzen. Zusätzlich wird die Schweißzone über ein Schutzgas geschützt. Bei einer Tischgeschwindigkeit von 5 cm/min wird eine Pendelbewegung mit 1 Hz und einer Amplitude von 20 mm verwendet. Während das Schutzgas und Transportgas variiert wird, wird bei allen Versuchen Argon als Plasmagas eingesetzt.

Hierbei zeigen sich verfahrensübliche geometrische Aufmischungsgrade von 5-20 %, bei minimalen Härtewerten von 550 HV_{0,5}. Die Vorwärmung wirkt sich hinsichtlich der maximalen Härte, sowie der angestrebten Verkleinerung der WEZ nachteilig aus. Bei 400 °C Vorwärmung ist die WEZ größer und erreicht mit 760 HV_{0,5} nahezu die Werte, die bereits beim CMT-Schweißen ohne Vorwärmung beobachtet werden. Mit Vorwärmung ist zudem zwischen Auftragschicht und der WEZ des Gusseisens ein größerer umgeschmolzener Bereich erkennbar. Dieser führt auch zu einer größeren geo-

metrischen Aufmischung von 22,6 % und einem entsprechend größerem Korrosionspotential (Abb 7). Als eine Herausforderung beim PPA-Prozess erweist sich die Porenbildung, die bei Vorwärmtemperaturen von 400 °C zwar reduziert, jedoch nicht ausgeschlossen werden kann. Eine Rissbildung in der Raupe wird hier nicht beobachtet.

Durch Zugabe von 30 % Helium als Schutzgas und Reduzierung des Plasmastroms zur Konstanthaltung der elektrischen Wärmezufuhr, erhöht sich der geometrische Aufmischungsgrad von 5 % auf 7,5 %, und bei reinem Helium als Schutzgas sogar auf 35 %. Bei reinem Helium zeigen sich zudem Prozessinstabilitäten, jedoch kann mit 30 % Heliumzugabe die Flächenbeschichtungsleistung bei gleichem Plasmastrom vergrößert werden um den geometrischen Aufmischungsgrad möglichst gering zu halten.

Während die Korrosionsschutzwirkung bei den vollflächigen Proben ohne, bzw. mit 200 °C Vorwärmung nahezu vergleichbar ist mit denen des Schweißzusatzwerkstoffes ist der Korrosionsschutz bei 400 °C vorgewärmten Proben geringer (Abb. 7).

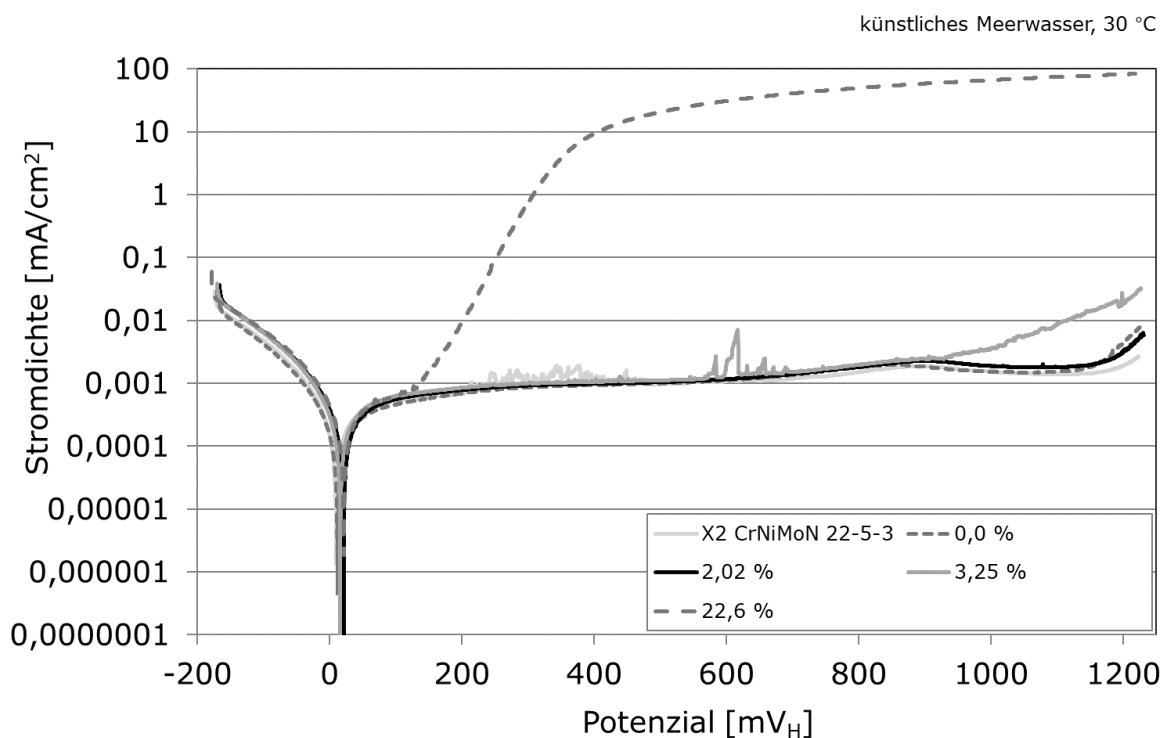


Abb. 7: Stromdichte-Potenzialkurve: Referenzwerkstoff sowie PPA-Probeschweißungen mit Duplex-Stahl-Schweißzusatz mit unterschiedlicher chemischer Aufmischung

4.2 Zinnbronze Plasma-Pulver-Auftragschichten

Die Erzeugung von einzelnen Schweißraupen ist in einem sehr schmalen Parameterbereich möglich, jedoch sind selbst dann Nahtunregelmäßigkeiten wie Spritzer um die

Rauper zu beobachten. Eine zu geringe Wärmeeinbringung führt zu einem schlechten Benetzungsverhalten und unaufgeschmolzenen Pulverrückständen. Zu große Lichtbogenleistungen oder Vorwärmung führen zu einem unregelmäßigen Nahtverlauf. Auch Poren und Risse im Grundwerkstoff ausgehend von der Wärmeeinflusszone treten vereinzelt auf. Ein Vorschub von 8 cm/min bei einer Pendelfrequenz von 3 Hz und einer Amplitude von 15 mm hat sich als geeignet erwiesen. Die Übertragung der Ergebnisse aus durchgehenden Einzelraupen auf vollflächige Auftragschweißungen ist nur bedingt möglich, da die Übergangszone aufschmilzt und offene Poren entstehen (Abb 8, a). Erst die Verwendung von 30 % Helium als Schutz- und Transportgas sowie gleichzeitig eine vollständige Abkühlung zwischen jeder Raupe ermöglichen es jedoch, eine vollflächige Auftragschicht zu erzeugen (Abb 8, b). Eine mögliche Erklärung hierfür ist die größere Wärmeleitfähigkeit, die zu einer günstigeren lokalen Aufschmelzung des Grundwerkstoffs und der anliegenden Raupe bei dennoch verhältnismäßig rascher Erstarrung der Schmelze führt. Großer Verzug und Eigenspannungen führen hier jedoch noch zu gelegentlichen Rissen im Grundwerkstoff.

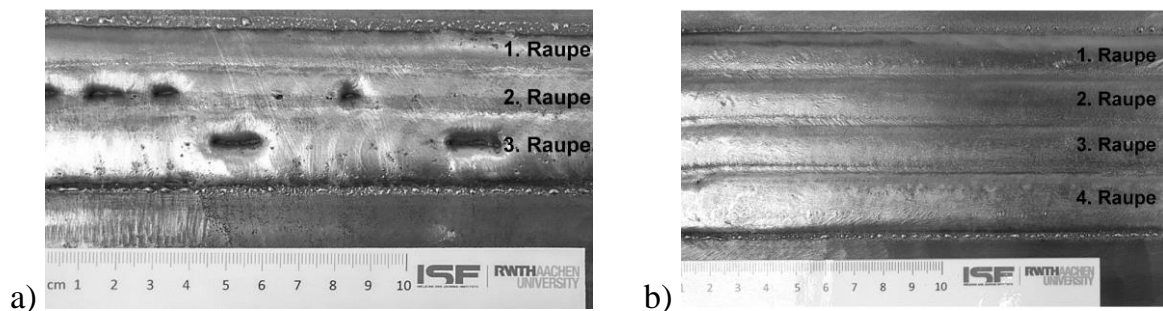


Abb. 8: Erzeugung vollflächiger Auftragschichten aus Zinnbronze: a) offene Poren in Übergangsbereichen und Folgeraupen mit reinem Argon als Schutzgas, b) Eliminierung von Poren und wiederholbarer Schichtaufbau durch Verwendung von 30 % Helium im Schutzgas

5 Fazit und Ausblick

Auftragschweißen auf Gusseisen mit Lamellengraphit bleibt eine Herausforderung in der Fügetechnik. Trotz der großen Aufhärtungs- und Rissgefahr konnten zwei Technologien untersucht werden, die das Kaltschweißen mit möglichst geringer Wärmezufuhr ermöglichen. Während der PPA-Prozess mit Duplexstahl-Schweißzusatz ein großes mögliches Prozessfenster aufweist, sehr geringe Aufmischungsgrade von 5 % erreicht

und die Porenproblematik eine Herausforderung darstellt, bedarf es bei der Anwendung energiereduzierter geregelter MSG-Kurzlichtbogenprozesse noch weiterer Untersuchungen. Auch denkbar ist der Einsatz von Fülldrähten oder dünneren Drahtelektroden, um trotz Kopplung von Drahtvorschub und elektrischer Leistung auch ohne Vorwärmung ähnlich geringe Aufhärtingsgrade und Rissneigungen wie beim PPA-Prozess zu erreichen und dabei weiterhin Draht als einfach handhabbaren und wirtschaftlichen Schweißzusatz verwenden zu können. Bei der Erzeugung von Auftragschichten aus Zinnbronze ist der MSG-Prozess in einem weiten Prozessfenster in der Lage vollflächige Auftragschichten zu erzeugen. Die Porenanfälligkeit, schlechte Benetzbarkeit und Löslichkeit des Gusseisens mit der Zinnbronze bleibt dennoch eine Herausforderung. Beim PPA-Schweißen mit Zinnbronze anstatt Duplex-Schweißzusatz sind durch das deutlich schmalere Prozessfenster hingegen bereits bei Einzelraupen weniger Möglichkeiten gegeben, die Wärmeleitung zu modifizieren. Die hier für eine Anbindung erforderliche, große Wärmeeinbringung, das daraus resultierende ungünstige Schmelzbadverhalten sowie die Wiederaufschmelzung großer Bereiche vorher fehlerfreier Raupen zeigen, dass hier noch Optimierungspotential besteht. Mithilfe von Heliumanteilen konnte der Schichtaufbau zwischen einzelnen Raupen jedoch verbessert werden, während Vorwärmungen bis 400 °C hier keine akzeptablen Ergebnisse hervorbringen. Andere Kupferwerkstoffe oder die Verwendung von Flussmitteln stellen weitere mögliche Lösungsansätze dar.

Literatur

- [1] Yıldızlı, K; Karamış, M.B.; Nair, F.: Erosion mechanisms of nodular and gray cast irons at different impact angles, *Wear*, 2006, 261, 622.
- [2] Tomlinson, W.J.; Talks, M.G. :Erosion and corrosion of cast iron under cavitation conditions, *Tribology International*, 1991, 24, 67
- [3] Pintaude, G.; Bernardes, F.G.; Santos, M.M.; Sinatora, A.; Albertin, E.: Mild and severe wear of steels and cast irons in sliding abrasion, *Wear*, 2009, 267, 19.
- [4] Herfurth, H.: Gusseisen – kleine Werkstoffkunde eines viel genutzten Eisenwerkstoffs, Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie
http://www.kug.bdguss.de/gusseisen_kleine_werkstoffkunde/

- [5] Dilthey, U.: Schweißtechnische Fertigungsverfahren. Band 2: Verhalten der Werkstoffe beim Schweißen. 3. bearbeitete Auflage. Springer-Verlag, Berlin u. a. 2005, ISBN 3-540-21674-X
- [6] Reisgen, U.; Oechsner, M.; Andersohn, G.; Sharma, R.; Ellermeier, J.; Gonzalez Olivares, E.; Heider, B.; Zokoll, E.: Auftragschweißen von Kavitations-, Korrosions- und Abrasionsschutzschichten an Gusseisenwerkstoffen, 12. Fachtagung "Verschleißschutz von Bauteilen durch Auftragschweißen, Halle (Saale), Juni 2018
- [7] Reisgen, U.; Oechsner, M.; Andersohn, G.; Sharma, R.; Ellermeier, J.; S. Wieland; Heider, B.; Gonzalez Olivares, E.: Improving the corrosion and wear resistance of grey cast iron components by surface welding with duplex stainless steel using controlled gas metal arc welding: Influence of dilution on corrosion properties, Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, Wiley-VCH, Berlin, in Druck
- [8] Oechsner, M.; Andersohn, G.; J. Ellermeier, J.; Heider, B.; Reisgen, U.; Sharma, R.; Wieland, S.; Gonzalez Olivares, E.: Corrosion resistance and microstructure of welded duplex stainless steel surface layers on gray cast iron, 2018 International Thermal Spray Conference, Orlando, Florida, USA, May 7-10, 2018

Autorenanschrift

Dipl.-Ing. Erik Zokoll

ISF - Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik

RWTH Aachen University

Pontstrasse 49

52062 Aachen

Tel.: +49 241 80-96279

Fax: +49 241 80-92170

Email: zokoll@isf.rwth-aachen.de

Für die Förderung des Forschungsvorhabens danken wir der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG RE2755/41-1 bzw. OE558 /15-1) sowie dem „Becas Chile“ Stipendium der National Commission for Scientific and Technological Research (CONICYT)